

Vergleichende Untersuchungen von Koronarangiographien und Korrosionspräparaten

von
Sigrid Pauly
aus
Frankfurt/Main

1972



Digitized by the Internet Archive
in 2026



Aus der Chirurgischen Klinik mit Poliklinik
der Universität Erlangen-Nürnberg
(Direktor: Prof. Dr. med. G. Hegemann)

Vergleichende Untersuchungen von Koronarangiographien und Korrosionspräparaten

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde
der Hohen Medizinischen Fakultät
der Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg

vorgelegt
von
Sigrid Pauly
aus
Frankfurt/Main

Gedruckt mit Erlaubnis der Medizinischen

Fakultät der Universität Erlangen-Nürnberg

Vergleichende Untersuchungen
von Koronarangiographien und
Koronarangioplastiken

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizinischen Fakultät
der Universität Erlangen-Nürnberg
vorgelegt von
Dr. med. habil. Dr. phil. habil.
Dr. med. Dr. phil. Dr. phil. habil.
Dr. med. Dr. phil. Dr. phil. habil.



Dekan: Professor Dr.Dr.H.Pauly

Referent: Priv.Doiz.Dr.J.v.d.Emde

Korreferent: Professor Dr.G.Hegemann

Tag der mündl. Prüfung: 21.11.1972

Meinen Eltern

Herrn Priv.Doiz.Dr.J.v.d.Emde möchte ich hiermit
für die freundliche Unterstützung bei der Aus-
führung der Arbeit danken.

Herrn Prof.Dr.G.Hegemann danke ich, daß ich diese
Arbeit an seinem Hause durchführen durfte.

GLIEDERUNG

I.	Einleitung	S. 1
II.	Vergleichende Anatomie	S. 2
III.	Geschichtliches zur Gefäßdarstellung	S. 9
	1. Dissektionsmethode	
	2. Injektionsmethode	
	3. Korrosionsmethode	
	4. Zusammenfassende Tabelle der Korrosionstechniken	
IV.	Arbeitsmethodik	S. 21
	1. Herstellung von Korrosionspräparaten	
	a. Präparation	
	b. Vorbereitung der Ausgußmasse	
	c. Injektionstechnik	
	d. Korrosionstechnik	
	2. Herstellung der Röntgenangiogramme	
	3. Messungen	
V.	Ergebnisse	S. 27
	1. Tabelle - Herzgewichte	
	2. Tabelle - Gefäßdurchmesser 1 cm vom Ostium	
	3. Tabelle - Ostiumabstand bei 0,2 mm Durchmesser	
	4. Tabelle - Röntgenbildmessung	

VI. Anastomosen S. 38

VII. Diskussion S. 42

VIII. Zusammenfassung S. 46

IX. Literaturverzeichnis S. 48

Lebenslauf

I. Einleitung

Die Koronarangiographie ist für die Beurteilung der Koronararterien ein objektives Maß. Sie ist sicherer als EKG-Aufzeichnungen und die subjektiven Angaben des Patienten und sie allein erlaubt es, eine spontane Prognose zu stellen, die Reparationsvorgänge in Form von Kollateralen- und Anastomosenbildung zu verfolgen und die therapeutischen Möglichkeiten abzuwägen.

Es kommen infrage einmal die konservative medikamentöse, zum anderen eine chirurgische Therapie, das sind peri-aortale Sympathektomie, die Vineberg'sche Mammaria-interna-Implantation und der aorto-coronare Venenbypass zur Umgehung von isolierten Stenosen in einem Bereich bis zu 2,0 mm Gefäßdurchmesser.

Die Problematik besteht in der Beurteilung der wahren anatomischen Verhältnisse aufgrund der Angiogramme. Die Schwierigkeit ergibt sich aus den verschiedenen Projektionen der einzelnen Gefäßabschnitte, je nachdem, ob diese orthograd oder schräg getroffen sind.

Daher sollen in dieser Arbeit die Koronarangiogramme und die Gefäßausgußpräparate derselben Herzen besonders im Hinblick auf die 2,0mm-Grenze verglichen werden.

Im folgenden wird zunächst anhand von Literatur und eigener Beobachtung die Koronaranatomie des Hunde- und Menschenherzens dargestellt.

II. Vergleichende Anatomie

1761 erkannte MORGAGNI als erster die Koronararterien als die ernährenden Gefäße des Herzmuskels. (39)

Die Bezeichnung "Arteriae Coronariae Cordis" geht auf GALENUS (1874) zurück, dem aber nur die linke Kranzarterie bekannt war (34).

1768 beschrieb HEBERDEN ausführlich das Krankheitsbild der angina pectoris, allerdings ohne Kenntnis der Ursache, die 1799 von PARRY in Koronarveränderungen gesehen wurde. Er hatte die Idee der Koronarinsuffizienz. (39)

Der Herzmuskelinfarkt wurde 1840 von WILLIAMS auf koronare Mangelversorgung aufgrund von partieller Obstruktion zurückgeführt. (39)

EKG-Veränderungen bei Herzinfarkt wurden 1920 erstmals von PARDEE aufgezeichnet. Die erste selektive Koronarangiographie wurde 1958 von SONES ausgeführt. (39)

Bei Mensch und Hund erfolgt die Herzmuskelversorgung aus zwei Kranzgefäßen, einer linken und einer rechten Koronarie, die aus dem Sinus Valsalvae des Aortenanfangsteils entspringen. Die großen Koronarstämme liegen oberflächlich subepicardial und geben kleinere Äste ab, die senkrecht von außen in die Muskulatur laufen. Nach SPALTEHOLZ (34) verlaufen beim Hundeherzen die Koronararterien gestreckter als beim menschlichen Herzen. Er spricht von einem sogenannten "Ablenkeffekt" des Arterienstammes, der beim menschlichen Koronargefäßsystem größer, als bei dem des Hundes sei.

Beträgt am menschlichen Herzen der Durchmesser des Astes mindestens $\frac{2}{5}$ des Stammdurchmessers, so wird der Arterienstamm an dieser Stelle zur Gegenseite abgelenkt. Diese Ablenkung wird mit zunehmender Aststärke größer (ROUX 1878) (zitiert nach SPALTEHOLZ (34)). Zweigen also aufeinanderfolgende Äste an verschiedenen Stellen ab, so wird sich ein geschlängelter Verlauf ergeben, der beim menschlichen Herzen ausgeprägter ist als es nach diesen Regeln zu erwarten wäre.

Die Versorgung des Herzmuskels erfolgt über die rechte und die linke Kranzarterie (Ramus descendens anterior und Ramus circumflexus) und beim Hundeherzen außerdem direkt aus dem Ventrikel (JAMES, 17), was in geringerem Maße auch beim menschlichen Herzen der Fall ist.

	Hund	Mensch
Linke Koronarie	Linker Ventrikel, linker Vorhof, an den sulci interventriculares anterior und posterior auf das rechte Herz übergreifend. Septum	Linker Ventrikel, linker Vorhof, 2/3 des Septum
Rechte Koronarie	Größter Teil des rechten Ventrikels rechter Vorhof	Linker Hauptast nur in 5 % besonders kräftig (JAMES, 17) Rechter Ventrikel, rechter Vorhof angrenzende Teile des linken Ventrikels in verschiedener Ausdehnung.
Ramus descendens posterior	Kreuzt nicht Crux Geht von der linken Koronarie aus	Kreuzt Crux in ca. 90% (JAMES, 17) Geht in 90% von der rechten Koronarie aus

Septum	Hauptversorgung durch eine Septalarterie, die entweder von der Bifurkation des linken Koronarstammes (55%) oder dem Ramus descendens anterior (45%) entspringt, außerdem kleine Septaläste (eigene Beobachtung)	4-6 Septaläste aus dem Ramus descendens anterior, die mit entsprechenden Ästen aus dem Ramus descendens posterior (rechte Koronarie) anastomosieren. Vordere Hälfte bis zwei Drittel durch die linke, Rest durch die rechte Koronarie versorgt (NUSSEBAUM, 24)
Sinusknotenarterie	Geht von der rechten Koronarie ab, und zwar von deren lateralem oder hinterem Drittel (17, 18)	Ursprung vom proximalen Drittel der rechten Koronarie (55%) oder von der linken Koronarie (45%) (JAMES, 17)

Versorgung des AV-Knoten	Mehrere kleine Äste der linken Koronarie, Septalarterie (JAMES, 17)	Eine größere AV-Arterie, in 90% aus der rechten Koronarie ent- springend
Anastomosen	Lage epicardnahe (im linken Ven- trikel), zahlreich, aber klein- kalibrig	Lage tiefer in der Muskulatur des linken Ventrikels (SPALTEHOLZ, 34) breiter und kräftig (SPALTEHOLZ, JAMES)
	Vorderwand des linken Ventrikels, Apex, Septum (NUSSBAUM, 24), Conus pulmonalis, SK-Gebiet (JAMES, 17)	Vorderwand, Septum, Hinterwand, u. a. (BAROLDI et al., 1) besonders bei Koronarkrankheit
		Net z u m C o n u s p u l - m o n a l i s (eigene Beobachtung)

Extracardiale Anastomosen	Über Pericard und Aorten- und Pulmo- nalis-Anfangsteil (eigene Beobachtung)	Mit Mediastinalgefäßen, Rami.. pericardiacophrenici aus der Arteria mamma interna, Bronchial- gefäßen. Über Pericard und peri- vaskuläres Bindegewebe der großen Gefäße (HUDSON et al., 14)
Venöser Abfluß	Paarweise Begleitung der ent- sprechenden Arterien	Venen begleiten nicht die Arterien

Ein Vergleich mit einigen ebenfalls ausgegossenen Schweineherzen zeigt folgendes:

Die Kaliber von rechter und linker Koronararterie sind fast gleich. Die Versorgung ist ähnlich den menschlichen Verhältnissen. In der Literatur wird mehrfach darauf hingewiesen, daß die Koronaranatomie des Schweineherzens viel eher der des menschlichen Herzens nahek kommt, als dies beim Hundeherzen der Fall ist (2, 13, 28). Die geringe Zahl der eigenen Präparate erlaubt keinen quantitativen Vergleich, jedoch sei erwähnt, daß die Septumversorgung in keinem Fall durch eine stärkere eigenständige Arterie erfolgte, sondern wie beim Menschen durch mehrere Äste, die abgehend vom Ramus descendens anterior in das Septum penetrieren. Ebenso wie beim menschlichen Herzen reicht auch beim Schweineherzen die kräftige/^{re}Koronarie bis weit auf die Hinterwand und kreuzt das Crux, wobei sie die AV-Arterie abgibt. Die Anastomosensituation des Schweineherzens beschreibt SPALTEHOLZ (34) als eine dem Hund ähnliche. Nach REES und REDDING (27) steht das menschliche Herz in Bezug auf Anastomosen zwischen dem Schweineherzen mit normalerweise wenig zahlreichen und dem Hundeherzen mit ausgeprägt kräftigen Anastomosen.

III. Geschichtliches zur Gefäßdarstellung

Im folgenden soll eine kurze Aufstellung der wesentlichen Methoden gegeben werden, mit deren Hilfe die Anatomie des Herzens und der Koronarkreislauf studiert wurden.

1. Dissektionsmethode

Das Verfolgen und Aufschneiden der Gefäße ausgehend vom Koronarostium bis in die Peripherie ohne markierende Hilfsmittel. Diese Methode stößt bei kleiner werdendem Kaliber der Gefäße sehr bald auf Schwierigkeiten, und Gefäßabgänge sind schwer auffindbar. Sie soll hier nicht weiter besprochen werden.

2. Injektionsmethode

Die Methode der Injektion von meist farbigen gefäßdarstellenden Massen selektiv oder über die Aortenwurzel, um den Verlauf der Gefäße aufzuzeigen, gefolgt von weiteren Arbeitsgängen, um die zunächst nicht zugänglichen Gebiete des Organs sichtbar machen zu können.

Als erster hat nach BRÜHL (4) SWAMMERDAMM 1672 heißes Wachs in größere Blutgefäße injiziert und so die Injektionstechnik begründet.

Leimmassen, die mit Chromgelb, Zinnober o. a. gefärbt wurden, verwendete unter anderem SPALTEHOLZ (1924).

Er kanulierte die Koronarien selektiv und unterwarf die Präparate nach der Injektion einem Aufhellungsverfahren unter Verwendung von Wasserstoffperoxyd, Benzin und Ölgemischen zum "Durchsichtigmachen" der Herzmuskelwandungen und zerlegte sie zum Teil. Der Nachteil war, daß nur die oberflächlichen Schichten zu beurteilen und die Materialschumpfung erheblich und unregelmäßig waren (34).

Agar- und Gelatinemassen wurden u. a. von GROSS (1921) (12), SCHLESINGER (1938) und auch SPALTEHOLZ benutzt. Sie wurden gefärbt mit Methylenblau oder Fuchsin (SCHLESINGER) (29), Zinnober (SPALTEHOLZ) (34) und es wurde ihnen als Kontrastmittel für Röntgenaufnahmen Bariumsulfat oder Bleiphosphat (SCHLESINGER, GROSS) zugefügt.

Die Gefäße wurden von der Aorta aus kanuliert und bei ca. 40° C unter physiologischen Drucken injiziert.

SCHLESINGER machte es durch bestimmte Schnittführungen möglich, das Herz in zwei Ebenen darzustellen (29). Auch SPALTEHOLZ hatte ein entsprechendes Diagramm des Herzens aufgestellt (34). GROSS fertigte stereoskopische Röntgenaufnahmen von seinen Präparaten an (12). Die röntgenographische Methode war schon 1896 kurz nach der Entdeckung der Röntgenstrahlen eingeführt worden, aber die stereoskopischen Aufnahmen waren eindrucksvoller.

3. Korrosionsmethode

Der Schwierigkeit bei der Injektionstechnik, daß die räumliche Vorstellung litt, ging die Methode der Korrosion aus dem Wege, indem härtende Massen, von denen im Laufe der Zeit eine Unzahl ausprobiert wurden, in die Gefäße eingespritzt und die umgebenden Gewebeteile nachträglich herausgelöst wurden, sodaß ein vollständiger Gefäßausguß in der natürlichen Anordnung übrigblieb.

Nach Aussagen von BRÜHL soll LIEBERKÜHN (1711-46) diese Technik begründet haben, indem er als Ausgußmaterial Swammerdamm-Masse (Wachs) benutzte und die Korrosion mit Salpetersäure durchführte (4). Im weiteren wurde u. a. mit Wachsmassen, Metallegierungen, Zelluloid, in neuerer Zeit Kunstharzen (polymerisierende Substanzen) gearbeitet.

Als Korrosionslösungen kommen verschiedene Säuren und Kali-Lauge in Frage.

Wachsgemische wurden neben LIEBERKÜHN auch von HYRTL (1855), der sie mit Harz mischte, MONRO (1730) SCHACHER (1710), FABRICIUS (1741), CASSEBOHM (1740), BARTH (1773) und PROCHASKA (1810) verwendet (zitiert nach WHITTEN, 37).

HYRTL, ein Meister der Korrosionstechnik, arbeitete außer mit Wachs auch mit Metallen. Er korrodierte mit Salzsäure (15).

Die verschiedenen verarbeiteten Metallegierungen mit Schmelzpunkten von $60 - 70^{\circ} \text{C}$ enthielten im wesentlichen Cadmium, Zinn, Wismuth und Blei in wechselnden Zusammensetzungen. NUSSBAUM (1912) (24) und GHOREYEB (1916)(37) gossen damit die Koronargefäße aus. Das Organ wurde in 10-%iger Formalinlösung vorfixiert, die Arterien kanuliert und das flüssige Metall bei $80-90^{\circ} \text{C}$ unter Drucken bis zu 600 mm Hg injiziert. Die Korrosion wurde mit Kalilauge ausgeführt. Vorteil: stabile Ausgüsse. Nachteil: die Methode war teuer und Farbzusatz war nicht möglich.

Zelluloid-Gemische benutzten HUBER (1906) (zitiert WHITTEN, 37), der als erster einen konstanten Druck aus einem Druckluftbehälter anwendete, und u. a. WHITTEN (1928) (37). Farben waren unter vielen Berliner Blau, Zinnober, Kobaltblau, Kristallviolett und Chromgelb. Das Material wurde in Äther, Alkohol oder Aceton gelöst, das später verdunstete, weshalb die Präparate sehr brüchig wurden.

Außerdem mußten die Präparate in Glyzeringemischen aufbewahrt werden. Zu große Schrumpfung wurde mittels Zusatz von Kaolin (HOCHSTETTER 1886) oder Kampfer (FLINT 1901) verhindert. Kampferzusatz machte auch die Glyzerinaufbewahrung überflüssig (zitiert WHITTEN, 37).

WHITTEN goß offenbar als einziger die Koronargefäße mit Zelluloidgemisch aus. Er kanulierte die Koronarien und injizierte sie dann simultan. Die Injektion erstreckte

sich über mehrere Tage unter einem Druck von 450 mm Hg. Korrodiert wurden die injizierten Organe mit Salzsäure, zum Teil mit Pepsinzusatz.

Vorteil: durch Verwendung alter Filme billige Methode.

Nachteil: beträchtliche Schrumpfung und große Brüchigkeit.

Der Vorschlag Latex zu verwenden kam von GAMBLE(1939)(10), ursprünglich allerdings von KRUSE aus dem gleichen Jahr (37). Vor der Injektion mußten die Präparate in Phenol oder Formalin fixiert werden, die injizierte Latexmasse erstarrte dann in derart vorbereiteten Gefäßen sehr bald.

Vorteil: die Viskosität konnte durch Zusatz von destilliertem Wasser verändert werden, sodaß es bis in die Kapillaren vordrang.

"Neoprene" - Latex-Injektionen der Herzkranzgefäße gaben 1945 SMITH und HENRY (33) an. Das Organ wurde nicht mit Formalin fixiert. Die Koronarien wurden getrennt durch Kanülen bei konstantem Druck von 150-170 mm Hg injiziert. Das Präparat härtete in Formalin-Essigsäure. Korrodiert wurde in Salzsäure. Der Nachteil: die mit Latex-Massen ausgegossenen Gefäßbäumchen kollabierten im Korrosionspräparat, sodaß sie in Wasser schwimmend aufbewahrt werden müssen.

An weiteren Materialien wurde eingefärbtes Vinylacetat (in Aceton gelöst) von KAZZAZ und SHANKLIN (1950) eingeführt, die durch die Aorta mit 200-250 mm Hg die Koronarien und das linke Herz von Hunden ausgossen.

Vorteil: hierbei wurden Arteriolen bis zu 40μ Durchmesser gefüllt; korrodiert wurde mit wässriger Pepsin-HCl-Lösung bei $34-38^{\circ}\text{C}$. Nachteil: die Korrosion war sehr langwierig und das Präparat schrumpfte durch Verdunsten des Acetons. Außerdem reagierte das Material heftig mit Wasser, sodaß alle verwendeten Gegenstände völlig trocken sein mußten (18).

Neue Stoffe, die ohne tagelange mühevollen Arbeit gute Ausgüsse liefern, sind Kunstharze. 1959 wurde von TOMPSETT eine Mischung von Marco 26 C, Monomer C unter Zusatz eines Katalysators angegeben, die mit bestimmten Farben in Pulverform eingefärbt werden konnten. Die Herzen wurden einige Tage vor dem Ausgießen in Formalin (4%ig) fixiert, und der Zeitpunkt der Injektion mußte genau abgepaßt werden, damit sich nicht zuviel Flüssigkeit im Präparat befand. Der Nachteil: die Injektionsmasse mußte möglichst spät vor dem Härten injiziert werden, da sie sich sonst mit dem noch anwesenden Wasser verband oder ins Gewebe verflüchtigte. Das Ausgießen erfolgte über die Aorta, die Mazeration wurde mit konzentrierter HCl ausgeführt(35).

Mit Vinylite in 10%iger Lösung und einer Beimengung von 10% Kaolin wurden die Koronargefäße von JAMES (1961) ausgegossen. Die Arterienstämme wurden kanuliert, Aceton wurde vorgespritzt und danach die Injektionsmasse mit 270-300 mm Hg injiziert. Der Druck wurde für mindestens 6 Stunden auf dem System belassen. Die Korrosionslösung war konzentrierte Salzsäure. Nachteil dieser Masse: durch Verdampfen des Acetons schrumpfte das Präparat (17).

Plastoid, ein Kunststoff der Firma Röhm & Haas wurde von SIGEL (1963) zur Darstellung von Nierengefäßen verwendet. Vorteil: es dringt bis in die feinsten Gefäße vor und die fertigen Präparate sind sehr widerstandsfähig.(32)

Im Vergleich zu Araldit wurden auch einige Ausgüsse mit Plastoid hergestellt. Der Nachteil von Plastoid: die Verarbeitung ist langwierig, da die Härtung in Formaldehydlösung (2-3 %ig) über mindestens 2 Tage vor sich geht, währenddessen zur korrekten Darstellung der Gefäßweite der Druck konstant bleiben muß, außerdem muß die Temperatur 45 - 50° C betragen. Nach Firmenangabe schrumpft das Material etwa um ein Drittel. Die Korrosion erfolgt in KOH.

Ein weiteres Vergleichsmaterial war eine Silikon-Kautschuk-Ausgußmasse der Fa. Wacker. Die Verarbeitung ist durch Zusatz eines Härters als Katalysator zwar sehr einfach, die Farben werden in Pulverform zugesetzt (Fa. Siegle) und

das Präparat ist hochelastisch und bricht nicht, aber nach der Korrosion (KOH) hängt das Gefäßbäumchen schlaff herunter, eine Erhöhung der Härte ist nicht zu erreichen. Die Masse eignet sich aber gut zum Ausgießen von Hohlräumen, z. B. Herzventrikel. Bei der Injektion der Koronarien wurde vom Aortenstamm ausgegossen ohne standardisierten Druck.

Das Material Araldit wurde 1966 von SCHMIDT und SCHMIER (Heidelberg) empfohlen, die damit ebenfalls Korrosionspräparate des Koronargefäßnetzes des Hundes hergestellt hatten. Es wurde über den Aortenstamm ausgegossen und ein effektiver Druck von 120 mm Hg angewandt; bei Zimmertemperatur dauerte die Injektion etwa 20-30 Minuten. Korrodiert wurde mit KOH (30).

In der vorliegenden Arbeit wurde die Anordnung etwas geändert, sie wird im folgenden noch beschrieben werden.

4. Zusammenfassende Tabelle der Korrosionstechniken

Ausgußmasse	Autoren	Farben	Technik	Korrosions- mittel	Vorteil	Nachteil
Wachsmassen, z.T.mit Harz gemischt	Lieberkühn Hyrtl, Monro, Schacher, Fab- ricius, Casse- bohm, Barth, Prochaska	Zinnober	Injektion des heißen Gemisches	Salpeter- säure, Salz- säure		
Metall-Legie- rungen (Cd, Sn, Pb, Bi) Schmelzpunkt 60-70 ° C	Hyrtl, Nuss- baum, Choreyeb	Keine	Vorfixation in 10% Formalin, Kanu- lierung, Injektion des flüssigen Metalles bei 80 - 90° C Druck:bis 600mmHg	Kalilauge	stabile Ausgüsse	Methode teuer Farbusatz un- möglich
Celluloid- Gemische	Huber, Whitten, Hochstetter, Flint	Berliner Blau, Zinnober, Kobalt- blau,	Kanulierung, Lösen des Celluloides in Äther, Aceton oder Alkohol, Kampfer-oder	Salzsäure (+Pepsin)	Billige Methode	Schrumpfen, Brüchigkeit Injektion langwierig

Ausgußmasse	Autoren	Farben	Technik	Korrosions- mittel	Vorteil	Nachteil
		Chromgelb Kristall- violett u. a.	Kaolinzusatz Druck: 450 mm Hg			Aufbewahrung in Glycerin, falls ohne Kampfer- u. Kaolin-Zusatz
Latex	Gamble, Kruse	keine Angaben	Vorfixation in Phenol oder For- malin Kanulierung Druck: 150 - 170 mm Hg	Salzsäure	Viskosi- tätsänderung nicht starr durch Zu- satz von aqua dest. Ausguß der Kapillaren möglich	Präparate nicht starr
"Neoprene"- Latex	Smith u. Henry	keine Angaben	keine Vorfixation Injektion selektiv Härtung in Forma- lin-Essigsäure Druck: ca. 150 mmHg	Salzsäure	keine Vor- fixation notwendig Kapillaren- Ausguß möglich	Präparate nicht starr

Ausgußmasse	Autoren	Farben	Technik	Korrosions- mittel	Vorteil	Nachteil
Vinylacetat (in Aceton)	Kazzaz und Shanklin	Farben d.Firma	keine Vorfixation Aortenstumpfin- jektion Druck: 200-250 mm Hg	wässrige Pep- sin-Salzlö- sung bei 34-38°C	Darstellung bis 40 µ Durchmesser	langwierige Korrosion, Schrumpfung, Material rea- giert heftig mit Wasser
Kunstharz: Marco 26 C Monomer C Katalysator	Tompsett	Farben in Pul- verform	Vorfixation in 4% Formalin Aortenwurzelin- jektion	konz. Salzsäure	schmale Durchfüh- rung	Diffusion ins Gewebe, Verbin- dung mit Wasser
Vinylite + Kaolin	James	verschie- dene Far- ben, die sich mit der Masse verbin- den	Vorspritzen von Aceton Kanulierung Druck: 270-300mm Hg für 6 Std.	konz. Salzsäure	Arteriolen- darstellung Präparat starr	Schrumpfung

Ausgußmasse	Autoren	Farben	Technik	Korrosions- mittel	Vorteil	Nachteil
Plastoid	Sigel(Niere) eigene Aus- güsse	in Pul- verform d.Firma	keine Vorfixation Kanulierung Injektionsdruck: physiologisch Härtung in 2-3% Formalin Temperatur: 45-50°C	Kalilauge	große Wider- standsfähig- keit, feinste Gefäßdar- stellung	langwierige Verarbeitung, Schrumpfung
Silikon-Kaut- schuk	eigene Aus- güsse	in Pul- verform	keine Vorfixation Aortenwurzelin- jektion Injektionsdruck: nicht standardi- siert	Kalilauge	Material hochelastisch	Präparat nicht starr
Kunstharz Araldit	Schmidt und Schmier eigene Aus- güsse	Farbpasten d.Firma Zusatz v. Bleisalz möglich	keine Vorfixation Injektion über Aortenwurzel od. Koronarkanülen simultan od. selektiv eff.Druck: ca. 120 mm Hg	Kalilauge	schnelle Härtung Arteriolen- darstellung gute Färb- barkeit, ge- ringe Schrumpfg.	feine Gefäße werden brüchig

IV. Arbeitsmethodik

1. Herstellung der Korrosionspräparate

Die verwendete Injektionsmasse setzt sich wie folgt zusammen: Grundmasse ist das Kunstharz Araldit F, dem der Weichmacher CY 208, der Härter HY 349 (Firma Ciba) und das hellrot gefärbte und röntgendichte Mennige zugesetzt werden.

a. Präparation

Das ^HHerz wird folgendermaßen zur Injektion vorbereitet: durch gründliches Waschen in Wasser wird das nach dem Tod des Tieres isolierte Organ von Blut und Gerinnseln befreit, das anhängende Fettgewebe abpräpariert und die großen Gefäße unterbunden, falls ein Ventrikelausguß ebenfalls vorgesehen ist.

Die Vena cava superior muß hoch genug unterbunden werden, um die in ihrem Anfangsteil verlaufende Sinusknoten-Arterie zu schonen. Durch die Vena cava inferior können das rechte Herz und über den Sinus coronarius die Herzw~~enen~~en injiziert werden, und über eine offenbleibende Lungenvene wird das linke Herz ausgegossen.

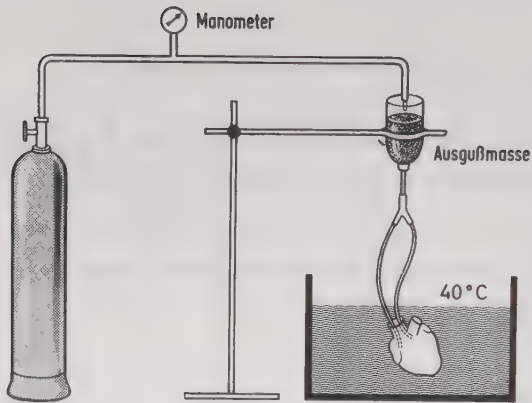


Abb. 1 Arbeitsanordnung zur Injektion

Durch den Aortenstumpf werden die Koronararterien mit Plastikkathetern entsprechender Größe kanuliert (Abb.1), diese werden am Abgang aus der Aorta fest eingebunden, über ein Y-Stück verbunden und an eine mit der Ausgußmasse gefüllte Plastikflasche angeschlossen. Zuvor müssen die Koronarien mit Wasser durchspült werden.

b. Vorbereitung der Ausgußmasse

Die Ausgußmasse setzt sich wie folgt zusammen:

Araldit F : Weichmacher : Härter : Mennige =

100 : 25 : 25 : 10 Gew. %

Zur Eliminierung der zahlreich im Gemisch vorhandenen Luftblasen wird die Masse zunächst ohne Härter in einen Exsikkator im Wasserbad von 40 ° C gestellt, der an eine Wasserstrahlpumpe angeschlossen ist. Im allgemeinen reicht eine halbe Stunde hierfür aus, dann wird der Härter zugegeben und vorsichtig umgerührt. Die Injektionsmasse muß sofort verarbeitet werden.

c. Injektionstechnik

Injiziert wird die Masse unter einem Druck von 300 mm Hg, da wegen der Viskositätsunterschiede zum Blut keine physiologischen Drucke angewendet werden können.

Der applizierte Druck wurde in einem Vorversuch als geeignet gefunden:

Ein Katheter von mittlerer Koronarienstärke wurde unter den angegebenen Versuchsbedingungen mit der Masse injiziert und dabei der Druck bestimmt, bei dem Araldit eine bestimmte Strecke (1 m) in der gleichen Zeit zurücklegt wie Blut unter physiologischen Drucken.

Der bestimmte Druck von 300 mm Hg wird solange auf dem System konstant belassen, bis die Masse polymerisiert ist, erkennbar daran, daß das restliche im Behälter verbliebene Araldit unter starker Hitzeentwicklung hart wird. Die Polymerisation erfolgt etwa eine halbe Stunde nach Zugabe des Härters. Das Präparat ist vollständig durchgehärtet nach 24 Stunden bei Zimmertemperatur im Wasserbad.

d. Korrosionstechnik

Die Korrosion wird vorgenommen nach Durchführung der gewünschten Röntgenaufnahmen, auf die noch eingegangen wird. Vor der Korrosion wird der Aortenstumpf ausgegossen, um den Abgang der Koronarien zu fixieren, sodaß das Präparat später nicht auseinanderfällt; gleichzeitig wird ein Metallstab von der Herzspitze aus mit eingegossen, um das fertige Präparat aufstellen zu können.

Die Korrosion erfolgt in 30%iger Kalilauge, die mehrmals erneuert werden muß; das Präparat wird inzwischen gewässert, um verseifte, das Herz wie ein Film überziehende Gewebereste, die eine weitere Korrosion verhindern, zu entfernen. Die Korrosion dauert je nach Herzgröße ein bis drei Tage.

2. Herstellung der Röntgenangiogramme

Das Präparat wird nach dem Durchhärten vor der Korrosion in einen würfelförmigen Rahmen mit der Kantenlänge von 20 cm fest eingespannt. Der Ramus descendens anterior zeigt nach oben (siehe Abb. 2).

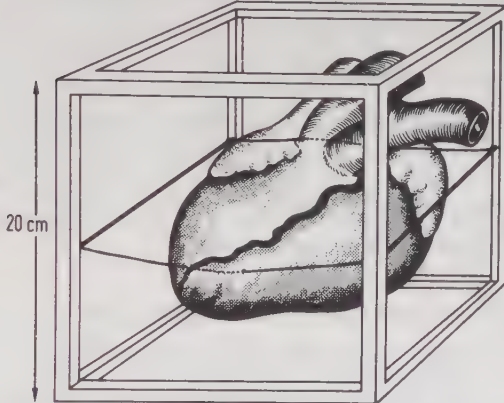


Abb. 2 Anordnung zur Anfertigung der Angiogramme

Um eine durch Aortenanfangsteil und Herzspitze gelegte Achse wird das Herz im Rahmen um jeweils 90° gedreht.

Es ergeben sich folgende Aufnahmen:

Hinterwand

Anfangsteil der rechten Koronarie

Vorderwand

Ramus circumflexus der linken Koronarie jeweils
plattennah.

Der Rahmen wird auf die Röntgenplatte gelegt, der Abstand Röntgenröhre - Platte beträgt immer einen Meter.

3. Messungen

Zunächst wird eine Zentimeter-Maßeinteilung auf die Gefäße des Korrosionspräparates entsprechend ihrem Verlauf, beginnend am Coronarostium, übertragen. Es interessiert der Gefäßdurchmesser in Abhängigkeit vom Abstand vom Ostium im Sinus valsalvae. Gesucht wird die Stelle, an der der Durchmesser die 2,0 mm -Grenze unterschreitet, bis zu der am Gefäß chirurgisch vorgegangen werden kann. Dieser Punkt wird im Röntgenbild in orthograder plattennaher Abbildung aufgesucht, und der Durchmesser wird in der flächenhaften Darstellung des Angiogramms wiederum gemessen.

Die Messungen am Korrosionspräparat erfolgen mit einer Schublehre mit Nonius-Einteilung, die eine Meßgenauigkeit von $\pm 0,1$ mm erlaubt. Die vergleichende Messung am Röntgenbild wird mit dem Stechzirkel gemacht.

Um die Verzerrung möglichst gering zu halten, wird immer die orthograde plattennahe Abbildung gewählt. Beim vergleichenden Ausmessen desselben Punktes einmal plattennah und einmal plattenfern ergibt sich allerdings kein feststellbarer Unterschied der Gefäßschattengröße.

V. Ergebnisse

Es wurden insgesamt 36 Hundeherzen und zum Vergleich 3 menschliche Herzen und 4 Schweineherzen ausgegossen. Die Hundeherzen wurden nach Gewicht geordnet und in 4 Gruppen zusammengestellt. Es wurde das Gewicht des frischen Organs ohne Perikard und gröbere epikardiale Fettanhänge mit ca. 2 cm langen Stümpfen der großen Gefäße ermittelt. Die Anzahl der untersuchten Herzen innerhalb der einzelnen Gruppen waren dabei etwa gleich - Gruppe I mit 9, Gruppe II mit 8, Gruppe III mit 10 und Gruppe IV mit 9 Präparaten.

Tabelle 1 - Herzgewichte

I) 50-100 g		II) 100-150 g		III) 150-200 g		IV) über 200 g	
Nr. 3	70 g	Nr. 11	105 g	Nr. 10	165 g	Nr. 5	210 g
6	85	15	130	14	160	9	225
13	80	16	150	24	185	18	220
21	85	31	120	29	180	19	255
25	90	37	125	30	185	27	230
34	95	39	110	33	195	32	230
40	95	44	125	35	155	47	205
49	90	46	140	38	200	50	245
56	80			48	165	53	230
				51	155		

Durchschnittsgewichte:

85 g	125 g	176,4 g	227 g
$\bar{\sigma} = 1,8$	$\bar{\sigma} = 4,1$	$\bar{\sigma} = 5,0$	$\bar{\sigma} = 4,0$

Von Gruppe I zu II stieg das Durchschnitts- Herzgewicht um 47 %, von I zu III auf ca. das Doppelte, genau um 107,5 %, von I zu IV um 167 %.

Die Durchschnittswerte der Herzgewichte der verschiedenen Gruppen sind signifikant verschieden.

Tabelle 2 - Gefäßdurchmesser

In der folgenden Tabelle sind die Gefäßdurchmesser der Korrosionspräparate im Abstand von 1 cm vom Coronarostium aufgeführt.

Gruppe I) Durchschnittsgewicht: 85 g

Nr.	a. coronaria dextra	r. descendens anterior	r. circumflexus
3	2,5 mm	3,6 mm	3,0 mm
6	2,4	3,4	2,4
13	1,6	3,0	2,4
21	2,0	2,5	2,2
25	1,9	3,1	3,0
34	2,3	3,0	3,1
40	2,2	2,9	3,2
49	2,3	2,8	2,6
56	2,0	3,0	2,6

Durchschnitt

$\bar{m} = 2,2 \text{ mm}$

$\bar{r} = 3,0 \text{ mm}$

$\bar{r} = 2,7 \text{ mm}$

$\bar{\sigma} = 0,08$

$\bar{\sigma} = 0,08$

$\bar{\sigma} = 0,1$

Gruppe II) Durchschnittsgewicht: 125 g

Nr.	a. coronaria dextra	r. descendens anterior	r. circumflexus
11	2,1 mm	4,1 mm	3,6 mm
15	1,6	3,1	2,9
16	2,4	3,1	3,5
31	1,9	2,0	2,3
37	2,2	2,7	2,8
39	2,1	3,3	3,7
44	2,3	3,7	3,6
46	2,0	2,5	2,5

Durchschnitt

$m = 2,1 \text{ mm}$

$3,1 \text{ mm}$

$3,2 \text{ mm}$

$\bar{\sigma} = 0,06$

$\bar{\sigma} = 0,16$

$\bar{\sigma} = 0,2$

Gruppe III) Durchschnittsgewicht: 176, 4 g

10	2,2 mm	3,5 mm	3,0 mm
14	2,4	3,4	4,0
24	2,2	3,5	3,1
29	2,1	2,9	3,0
30	2,2	2,9	3,0
33	2,7	3,8	4,0
35	2,2	3,2	2,9
38	2,1	3,4	3,3
48	2,4	3,9	3,5
51	2,1	2,9	3,0

Durchschnitt

$m = 2,3 \text{ mm}$

$3,5 \text{ mm}$

$3,1 \text{ mm}$

$\bar{\sigma} = 0,04$

$\bar{\sigma} = 0,08$

$\bar{\sigma} = 0,08$

Gruppe IV) Durchschnittsgewicht: 227 g

Nr.	a.coronaria dextra	r.descendens anterior	r.circumflexus
5	2,7 mm	3,5 mm	4,3 mm
9	2,3	3,1	3,2
18	2,4	2,9	3,3
19	2,9	3,8	3,8
27	2,0	3,0	2,7
32	2,4	3,4	3,6
47	2,4	4,1	3,7
50	2,7	3,9	3,7
53	2,2	3,0	3,4

Durchschnitt

$m = 2,4$ mm	$3,4$ mm	$3,5$ mm
$\bar{\sigma} = 0,08$	$\bar{\sigma} = 0,14$	$\bar{\sigma} = 0,09$

Aus der Tabelle 2 geht eindeutig hervor, daß mit größer werdendem Herzgewicht auch das Kaliber des einzelnen Gefäßstammes zunimmt, was einem erhöhten Durchflußvolumen entspricht.

Signifikant ist die Größenzunahme jedoch in keinem Fall zwischen den Gruppen I und II. Von der Gruppe I zu III vergrößern sich nur die Kaliber der Rami descendentes anteriores und der Rami circumflexi signifikant. In der Gruppe IV erreicht nur das Kaliber des Ramus circumflexus eine signifikante Zunahme gegenüber der Gruppe I.

Bekanntlich verhält sich die Volumenmenge, die in der Zeiteinheit fließt, nach dem Hagen-Poiseuille'schen Gesetz

$$i = \frac{\Delta p \cdot \pi}{8 \cdot l \cdot \eta} \cdot r^4$$

proportional der 4. Potenz des Gefäßradius.

Nach Tabelle 2 vergrößern sich die Gefäßradien zwischen den einzelnen Gruppen um folgende Werte:

	Gewicht	Gefäßradien		
		a.coron. dextra	r.desc.ant.	r.circum- flexus
Gruppe I	85 g	1,1 mm	1,5 mm	1,35 mm
Gruppe II	125 g	1,05mm	1,55 mm	1,6 mm
Differenz:		-0,05mm	0,05 mm	0,25 mm
Prozentsatz:		-	3 %	18 %
Gruppe I	85 g	1,1 mm	1,5 mm	1,35 mm
Gruppe III	176,4g	1,15mm	1,75 mm	1,55 mm
Differenz:		0,05mm	0,25 mm	0,2 mm
Prozentsatz		5 %	17 %	15 %
Gruppe I	85 g	1,1 mm	1,5 mm	1,35 mm
Gruppe IV	227 g	1,2 mm	1,7 mm	1,75 mm
Differenz:		0,1 mm	0,2 mm	0,4 mm
Prozentsatz		9 %	13 %	29 %

Betrachtet man insgesamt die Zunahme des Gefäßradius der linken Koronarie, also des Ramus descendens anterior und des Ramus circumflexus, so ergibt sich mit steigendem Herzgewicht eine lineare Größenzunahme des Radius.

Tabelle 3 - Ostiumabstand bei 2,0 mm Durchmesser

Den Abstand vom Coronarostium, in dem das Gefäß die 2,0 mm-Grenze unterschreitet, zeigt folgende Tabelle (Messung am Korrosionspräparat).

Gruppe I) Durchschnittsgewicht: 85 g

Nr.	a. coronaria dextra	r.descendens anterior	r.circumflexus
3	9,3 cm	5,8 cm	5,5 cm
6	1,8	7,0	4,7
13		4,5	2,7
21	1,0	4,7	4,0
25	0,5	4,0 /5,0*	6,0 /5,0*
34	2,0	6,7	8,0 /5,5*
40	2,2	6,0	7,0
49	3,2	5,5	5,5 /6,0*
56	1,0	4,0	5,5

Durchschnitt

M = 1,9 cm	5,5 cm	5,5 cm
$\bar{\sigma} = 0,34$	$\bar{\sigma} = 0,3$	$\bar{\sigma} = 0,26$

Gruppe II) Durchschnittsgewicht: 125 g

11	4,0 cm	6,7 cm	10,0 cm
15		5,0	5,0
16	4,0	5,0	10,5
31		1,0	3,7
37	2,0	4,0	7,0 /5,0*
39	2,0	5,5 /5,7*	12,5
44	5,5	5,5 /8,5*	12,7 /7,0*
46	1,0	3,0	5,0 /5,0*

Durchschnitt

m = 3,0 cm	5,1 cm	7,4 cm
$\bar{\sigma} = 0,58$	$\bar{\sigma} = 0,4$	$\bar{\sigma} = 0,96$

Gruppe III) Durchschnittsgewicht: 176 ,4 g

Nr.	a.coronaria dextra	r.descendens anterior	r. circumflexus
10	5,0 cm	8,0 cm	8,5 / 7,0* cm
14	4,5	5,0	8,0 / 10,0*
24	3,7	7,0 / 6,0*	7,0 / 9,0*
29	2,0	4,5	7,0
30	2,0	3,5	10,7 / 4,2*
33	4,7	7,7 / 7,8*	10,5 / 10,5*
35	3,5	7,0	5,0
38	2,0	6,0	7,0 / 9,0*
48	3,0	8,5	9,0
51	2,0	5,0	6,0 / 5,0*

Durchschnitt

m =	3,9 cm	6,4 cm	7,9 cm
$\bar{\sigma}$ =	0,32	$\bar{\sigma}$ = 0,41	$\bar{\sigma}$ = 0,47

Gruppe IV) Durchschnittsgewicht: 227 g

5	5,2 cm	5,8 cm	15,0 cm
9	2,5	8,0	9,0
18	4,3	6,0	10,0 / 7,0*
19	6,0	8,8	10,0 / 11,0*
27	1,0	7,0 / 5,0*	5,5
32	5,5	9,0	10,0
47	3,0	8,0	12,0 / 12,0*
50	5,5	11,0	16,0 / 11,7*
53	4,0	6,0	14,0

Durchschnitt

m =	4,3 cm	7,3 cm	11,1 cm
$\bar{\sigma}$ =	0,46	$\bar{\sigma}$ = 0,45	$\bar{\sigma}$ = 0,677

*da die Arterienstämme sich häufig in zwei annähernd gleichstarke Äste teilen, wurden diese jeder getrennt vom Ostium aus vermessen; bei der Berechnung des Durchschnittswertes wurden die Äste wie getrennte Arterien behandelt.

Die ohnehin kaliberschwächere rechte Koronararterie erreicht die 2,0,-Grenze nach kürzerem Verlauf, als die Äste der linken Koronarie. Diese Strecke nimmt mit wachsendem Organgewicht zu, jedoch zwischen zwei benachbarten Gruppen nicht signifikant. Eine signifikante Differenz ist nur zwischen den Gruppen I und III feststellbar.

Beim Ramus descendens anterior wird eine signifikante Zunahme der Gefäßlänge erst zwischen den Gruppen I und IV erreicht, beim Ramus circumflexus zwischen den Gruppen I und III, II und IV, und III und IV.

Tabelle 4 - Röntgenbildmessungen

Im Vergleich zum Korrosionspräparat zeigt der Gefäßschatten des Röntgenbildes folgende Durchmesser (Gefäßweite im Korrosionspräparat an dieser Stelle = 2,0mm, s. Tab. 3):

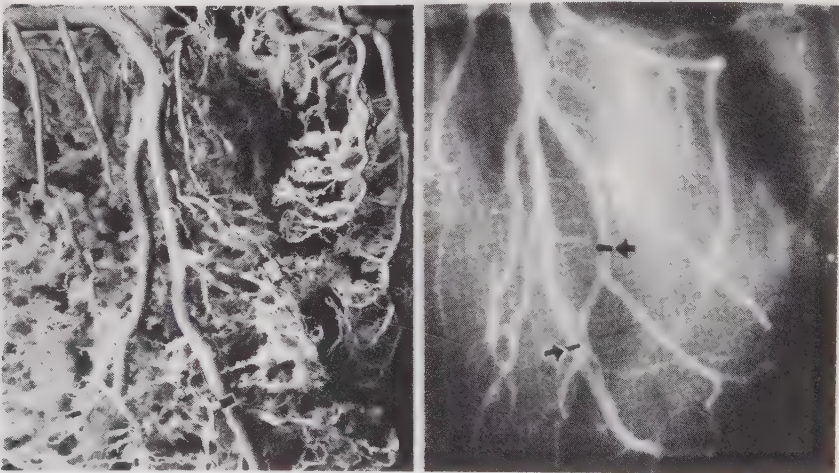


Abb. 3

Ramus descendens posterior im Korrosionspräparat und Röntgenbild (weißer Pfeil), schwarzer Pfeil: im Korrosionspräparat nicht sichtbarer Ramus descendens anterior.

Gruppe I) Durchschnittsgewicht: 85 g

Nr.	a.coronaria dextra	r.descendens anterior	r.circumflexus
3	2,1 mm	2,1 mm	2,1 mm
6	2,1	2,0	2,1
13		2,1	2,1
21	2,0	2,0	2,1
25	2,1	2,1/2,1*	2,2 / 2,2*
34	2,1	2,1	2,1 / 2,1*
40	2,1	2,2	2,1
49	2,1	2,1	2,2 / 2,1*
56	2,1	2,1	2,2

Durchschnitt

m = 2,09 mm 2,09 mm 2,13 mm

$\bar{\sigma} = 0,013$ $\bar{\sigma} = 0,018$ $\bar{\sigma} = 0,014$

Gruppe II) Durchschnittsgewicht: 125 g

11	2,1 mm	2,2 mm	2,1 mm
15		2,1	2,2
16	2,0	2,1	2,2
31		2,2	2,1
37	2,2	2,2	2,1/ 2,2*
39	2,1	2,1 / 2,1*	2,1
44	2,2	2,1 / 2,0*	2,1/ 2,1*
46	2,1	2,1	2,1/2,1 *

Durchschnitt

m = 2,12 mm 2,12 mm 2,13 mm

$\bar{\sigma} = 0,03$ $\bar{\sigma} = 0,02$ $\bar{\sigma} = 0,014$

Gruppe III) Durchschnittsgewicht: 176, 4 g

Nr.	a.coronaria dextra	r.descendens anterior	r.circumflexus
10	2,0 mm	2,1 mm	2,1 / 2,1* mm
14	2,2	2,1	2,1 / 2,1*
24	2,0	2,0 / 2,1*	2,1 / 2,2*
29	2,0	2,1	2,0
30	2,1	2,1	2,1 / 2,2*
33	2,1	2,1 / 2,2*	2,2 / 2,0*
35	2,1	2,1	2,1
38	2,1	2,2	2,1 / 2,1*
48	2,1	2,1	2,2
51	2,1	2,2	2,1 / 2,1*

Durchschnitt

m =	2,08 mm	2,12 mm	2,11 mm
$\bar{\sigma}$ =	0,02	$\bar{\sigma}$ = 0,017	$\bar{\sigma}$ = 0,015

Gruppe IV) Durchschnittsgewicht: 227 g

5	2,1 mm	2,2 mm	2,1 mm
9	2,0	2,1	2,0
18	2,1	2,1	2,2 / 2,0*
19	2,2	2,0	2,1 / 2,2*
27	2,2	2,1 / 2,1*	2,2
32	2,2	2,1	2,1
47	2,2	2,2	2,1 / 2,1*
50	2,1	2,1	2,1 / 2,1*
53	2,1	2,1	2,1

Durchschnitt

m =	2,13 mm	2,11 mm	2,11 mm
$\bar{\sigma}$ =	0,024	$\bar{\sigma}$ = 0,018	$\bar{\sigma}$ = 0,018

* siehe Fußnote Seite 33

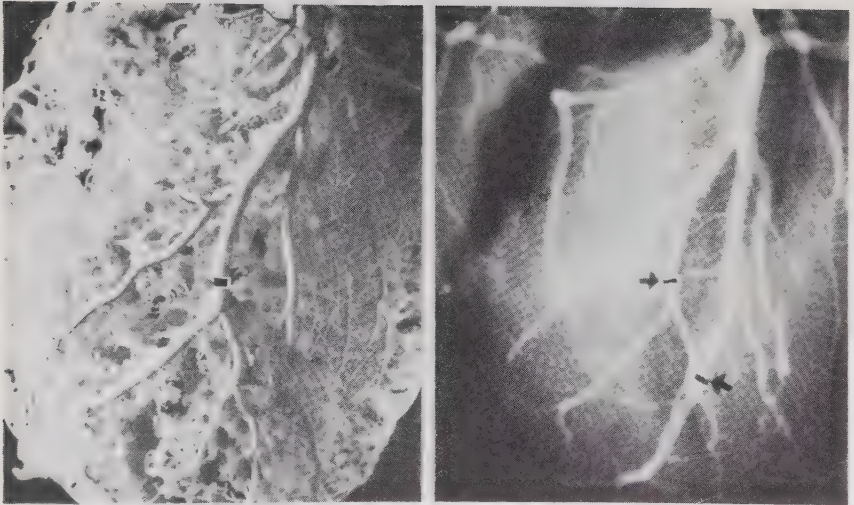


Abb. 4

Ramus descendens anterior im Korrosionspräparat und Röntgenbild. Der weißumrandete Pfeil markiert den Ramus descendens anterior, der schwarze Pfeil zeigt den im Korrosionspräparat nicht sichtbaren Ramus descendens posterior.

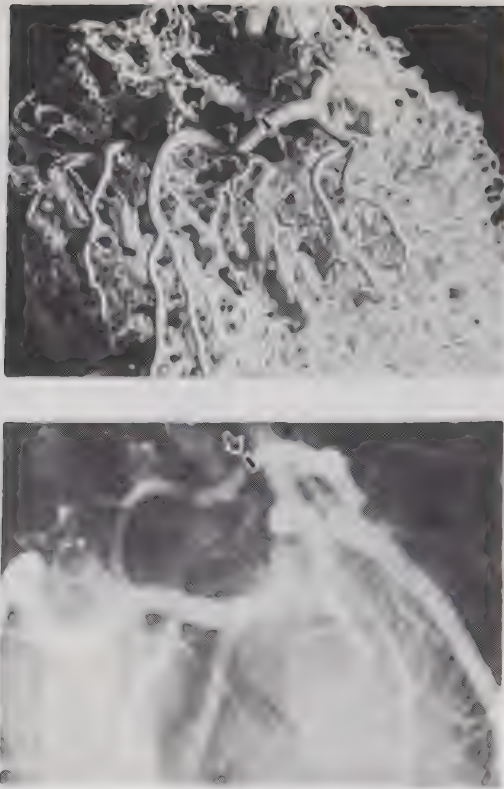


Abb. 5

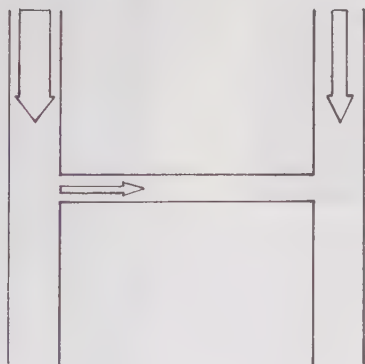
Rechte Koronarie im Korrosionspräparat und Röntgenbild.
Im Röntgenbild entspricht das parallel zur markierten
re. Koronarie verlaufende Gefäß dem im Korrosionspräparat
nicht sichtbaren Ramus circumflexus.

VI. Anastomosen

Es soll hier nur kurz auf die Frage der Anastomosendarstellung eingegangen werden.

Definitionsgemäß sind Anastomosen Gefäßverbindungen zwischen rechter und linker Koronararterie, während Kollateralen Äste einer Koronarie verbinden. Jedoch werden die Benennungen häufig nicht streng unterschieden.

Eine Darstellung solcher Querverbindungen ist naturgemäß nur möglich, wenn zwischen den beiden zuführenden Gefäßschenkeln eine Druckdifferenz besteht.



Von SCHMIDT und SCHMIER (30) als besonders geeignet zur Darstellung wurde Araldit F bezeichnet. Nach ihren Angaben ist jedoch die retrograde Füllung eines verschlossenen Koronarastes mit Araldit F am normalen Hundeherzen nicht möglich.

Werden die Koronarstämme aber nicht simultan (wie bei SCHMIDT und SCHMIER über die Aortenwurzel) sondern nacheinander über getrennte Koronarkanülen injiziert, so lassen sich Anastomosen gut darstellen, die das ligierte Gefäß retrograd gefüllt haben (s. Abb. 6)

Abb. 6

Zeigt deutlich die Ligaturstelle an einem Seitenast des R. desc. anterior und seine retrograde Füllung über zwei einmündende Kollateralen, die ihren Ursprung von einem Ast des R. circumflexus nehmen. Die Kollateralen wurden dunkel nachgefärbt.



Es gelang mit dieser Technik auch, größere Anastomosen darzustellen, ohne vorher einen Ast zu unterbinden (s. Abb. 7).

Bei einer Aortenwurzelinjektion war die Darstellung nicht zu erreichen, was den Literaturangaben (30) entspricht.

Abb. 7

Gibt ein größeres Kollateralgefäß ebenfalls zwischen R. circumflexus und R. desc. anterior wieder, die über den Apex verläuft. Es wurde keine Ligatur durchgeführt. Am fertigen Korrosionspräparat wurde das Gefäß selektiv mit Tusche angefärbt.



Anastomosen zwischen der rechten Koronararterie und dem Ramus descendens anterior der linken Koronararterie konnten zwar bei der Injektion einwandfrei sichtbar gemacht werden, da sie oberflächlich liegen, jedoch sind sie so dünn, daß sie bei der Korrosion meist zerstört werden. Am injizierten nicht korrodierten Organ sieht man im Grenzgebiet von rechtem und linkem Ventrikel subepikardial ein dichtes feines Gefäßnetz.

Einwandfreie Darstellung am Korrosionspräparat sind bei den stärkeren Kollateralen zwischen den Rami descendens anterior und circumflexus möglich.

VII. Diskussion

Aus den Ergebnissen wird ersichtlich, daß die Zunahme der Gefäßkaliber mit steigendem Herzgewicht uneinheitlich ist. Auffallend ist die ausgeprägte Zunahme des Gefäßradius der linken Kranzarterie und hier des Ramus circumflexus im besonderen, dessen Werte noch über denen des Ramus descendens anterior liegen. Hämodynamisch ist die ausgeprägte Kaliberzunahme des Ramus circumflexus sinnvoll, da mit wachsendem Herzgewicht die Gefäßlänge ebenfalls zunimmt und somit auch der Widerstand wächst. Eine ausreichende Perfusion der Peripherie wird nur durch einen größeren Gefäßquerschnitt gewährleistet.

Die rechte Koronararterie, die immer wesentlich schwächer ist, als jeder Hauptast der linken Arterie, nimmt auch mit wachsendem Herzgewicht relativ weniger an Stärke zu, als die anderen (s. Tab. 2).

Der Größenzunahme der Radien entspricht ein vermehrtes Durchflußvolumen.

Die Gruppe II - Herzgewichte liegen ca. 50 % über denen der Gruppe I, dabei steigt nach Hagen-Poiseuille die Stromstärke (wenn nur der Radius als variabel berücksichtigt wird) im Ramus descendens anterior um 14 % an, und im Ramus circumflexus, dessen Stärkenzuwachs 18 % beträgt. sogar um 97,3 %.

Berücksichtigt man die Gruppen I und III (Gewichtssteigerung auf das Doppelte), so fließt durch die rechte Koronarie 19,5 %, den Ramus descendens anterior 85,3 %, den Ramus circumflexus 73,8 % mehr Blut in der Zeiteinheit.

Die Gruppen I und IV verhalten sich wie folgt: Die Zunahme der Stromstärke beträgt bei der rechten Koronarie 41,6 %, dem Ramus descendens anterior 65 % und dem Ramus circumflexus 182,4 % (bei Gewichtszunahme des Herzens um das Eineinhalbfache).

Würde der Radius eines Gefäßes um die Hälfte größer werden, so entspräche dies einem Anwachsen der Stromstärke auf das Fünffache!

Auf das lineare Anwachsen des Gefäßradius der linken Koronarie (Ramus descendens anterior und Ramus circumflexus) mit steigendem Herzgewicht wurde bereits hingewiesen. Ein entsprechender Anstieg des Durchflußvolumens durch die linke Koronarie ist klar ersichtlich.

Mit den größeren Stammdurchmessern bei schweren Herzen nimmt auch die Länge der Gefäße zu, und die 2,0mm-Grenze wird in größerem Abstand vom Koronarostium erreicht (s. Tab. 3). Eine Ausnahme macht hierbei der Ramus descendens anterior der Gruppe II, der nicht weiter berücksichtigt wurde.

Die rechte Koronararterie ist das schwächste und kürzeste Gefäß, das längste ist der Ramus circumflexus, der aus seinem Weg auch größere Äste abgibt und sich häufiger in zwei annähernd gleich starke Äste verzweigt, als dies beim Ramus descendens anterior der Fall ist. Meist ist die Septalarterie der einzig starke Ast des Ramus descendens anterior.

Die Arteria coronaria dextra gibt am Hundeherzen keine größeren Äste ab.

Große Längenunterschiede zwischen den Rami descendens anterior und circumflexus sind nur innerhalb der Gruppe III und IV feststellbar, also bei den Herzen mit einem Gewicht über 150 g, bei denen die Werte des Ramus circumflexus signifikant höher liegen als die des Ramus descendens anterior. Die Gewichtszunahme bedeutet vor allem eine Muskelzunahme des linken Ventrikels, dem der rechte Ventrikel bei den schweren Organen nur noch ^{wie} eine wand-schwache Kappe aufsitzt.

Die wichtige 2,0 mm-Grenze wurde im Arterienverlauf des jeweils entsprechenden Röntgenangiogrammes aufgesucht. Die vergleichenden Messungen zeigen folgendes:

Die Einzelmeßwerte variieren zwischen 2,0 und 2,2 mm, die Werte der Mittelwerte von 2,08 bis 2,13 mm (s.Tab. 4). Durch Verzerrung durch die Projektion des Gefäßschattens ergibt sich demnach eine Vergrößerung gegenüber dem wahren Wert von 0,08 bis 0,13 mm, im Gesamtdurchschnitt von +0,11 mm.

Dies entspricht einem Projektionsfehler bei 2,0 mm wahren Gefäßdurchmesser von 5%.

Diese Werte gelten jedoch bei orthograder Projektion. Diese ist somit von außerordentlicher Wichtigkeit bei der Beurteilung der Gefäßdurchmesser im Röntgenbild. Dabei wird man am lebenden Versuchstier oder am Patienten häufig auf Schwierigkeiten stoßen, da eine beliebige Drehung und Lagerung schwer möglich ist. Dies zieht entsprechende Fehlerbreiten nach sich, die beachtet werden müssen.

VIII. Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurden die Korrosionspräparate und die Koronarangiographien von 36 Hunden verglichen.

Die Ausgüsse wurden mit Araldit hergestellt.

Zum anatomischen Vergleich wurden zusätzlich 3 menschliche Organe und 4 Schweineherzen ausgegossen.

Es wurden die Gefäßdurchmesser von jeweils rechter Koronararterie und den Rami descendens anterior und circumflexus der linken Koronarie im Abstand von 1 cm vom Oatium gemessen und der Gefäßverlauf bis zu einem Durchmesser von 2,0 mm im Korrosionspräparat und Röntgenbild verfolgt:

1. Die linke Koronararterie überwiegt an Stärke und Länge die rechte, hierbei besonders der Ramus circumflexus.
2. Mit steigendem Herzgewicht nimmt der Ramus circumflexus relativ mehr an Kaliber zu, als die rechte Koronarie und der Ramus descendens anterior.
3. Der Ramus circumflexus weist den längsten Verlauf bis zum Erreichen der 2.0 mm-Grenze auf und gibt dabei besonders dicke Äste ab.
4. Die vergleichende Messung an Präparat und Röntgenbild bei einem Durchmesser von 2,0 mm ergibt bei orthograder Projektion bei einem Abstand Röhre-Platte von 1 m eine Abweichung von durchschnittlich + 0,11 mm entsprechend 5 %.

Anastomosen wurden an mehreren Präparaten nachgewiesen.
Dies war nach Ligatur durch retrograde Füllung des
ligierten Gefäßes wie auch ohne Ligatur möglich.

IX. Literaturverzeichnis

- 1) Baroldi, G., Mantero, O., Scmazzone, G.
The collaterals of the coronary arteries
in normal and pathologic hearts
Circulation Res. 4: 223-229 (1956)
- 2) Bellman, S., Frank, H. A.
Intercoronary collaterals in normal hearts
Journal of Thoracic Surgery 36: 584-603 (1958)
- 3) Blumgart, H., L.,
Anatomy and functional importance of
intercoronary arterial anastomosis
Circulation 20: 812-815 (1959)
- 4) Brühl, G. Die anatomischen Darstellungsweisen der
Hohlräume des Ohres und der Nase
Anat Anz 14: 418 ff (1898)
- 5) Chansky, M., Levy, M.H.
Collateral circulation to myocardial regions
supplied by the anterior descending and right
coronary arteries in the dog
Circul Res 11: 414-417 (1962)
- 6) Coulson, R. L.
Observation on arterial collateral
communications in the dog heart
J Physiol 198: 87-88 (1968)

- 7) Eckstein, R. W. Effect of exercise and coronary artery narrowing on coronary collateral circulation
Circul Res 5: 230 - 235 (1957)
- 8) Enderle, A., Korb, G., Krug, A.
Tierexperimentelle Untersuchung zur Beeinflussung der Folgen eines temporären Koronararterienverschlusses auf das Myokard
Z Kreislauff 58: 465-472 (1969)
- 9) Fishman, N.H. Extended limits for total myocardial ischemia
Surg Forum 19: 156 -157 (1968)
- 10) Gamble, D.L. Liquid latex as an injection mass for blood vessels
Science 90: 520 ff (1939)
- 11) Grayson, J., Irvine, M.
Myocardial infarction in the monkey: studies on the collateral circulation after acute coronary occlusion
Cardiovasc Res 2: 170-178 (1968)
- 12) Gross, L. The blood supply of the heart
Paul B. Hoeber Inc New York (1921)
- 13) Hempel, K.J., Zeitler, E.
Kollateralbildungen bei der Koronarokklusion am Schweineherzen
Verh. Deutsch. Ges. Path. 51: 247-253 (1967)
- 14) Hudson, C. L. The extracardiac anastomoses of the coronary arteries
J. Exptl Med 56:919-925 (1932)

- 15) Hyrtl, J. Die Korrosionsanatomie
Braumüller Wien (1873)
- 16) Intosh, Mc. The time-course of the development
of collateral circulation following
gradual coronary occlusion in the pig
Trans Amer Clin & Clim Ass 79:
124-133 (1968)
- 17) James, T. N. Anatomy of the coronary arteries
Paul B Hoeber Inc. New York (1961)
- 18) Kazzaz, D.,Shanklin, W.M.
The coronary vessels of the dog demon-
strated by colored plastic (vinyl acetate)
injections and corrosion
Anatomical Record 107: 43-59 (1950)
- 19) Korb, G. Morphologic changes in the myocardium
following short term total ischemia
and immediately following complete
resumption of full function
Z Kreislauff55: 14-24 (1966)
- 20) Leon, A.S. Effects of exercise and its cessation
on the heart and its blood supply
J Appl Physiol 24: 485-490 (1968)
- 21) Marchetti, G. Preliminary findings on coronary cir-
culation in vigilant dogs studies with
chronically implanted electromagnetic
flowmeters
Boll Soc Ital Cardiol 11: 830-835 (1966)

- 22) Meek, W. J., Keeman, M., Theisen, H.J.
The auricular blood supply in the dog.
I.General auricular supply with special
reference to the sino-auricular node
Am Heart J 4: 591-599 (1929)
- 23) Moore, R.A. The coronary arteries of the dog
Am Heart J 5: 743-749 (1930)
- 24) Nussbaum, A. Über das Gefäßsystem des Herzens
Arch f Mikr Anat 80: 450-477 (1912)
- 25) Pianetto, M.B. Coronary arteries of the dog
Am Heart J 18: 403 ff (1939)
- 26) Redding, V.J., Rees, J. R.
Early changes in collateral flow following
coronary artery ligation: the role of the
sympathetic nervous system
Cardiovasc Res. 3: 219-225 (1968)
- 27) Rees, J.R., Redding, V.J.
Anastomotic blood flow in experimental
myocardial infarction
Cardiovasc Res 1: 169-178 (1967)
- 28) Rees, J.R. The myocardial collateral circulation
Brit Heart J 31: 1-4 (1969)
- 29) Schlesinger, M. J.
An injection plus dissection study of
coronary artery occlusions and anastomoses
Am Heart J 15: 528-568 (1938)

- 30) Schmidt, H.D., Schmier, J.
Eine Methode zur Herstellung anatomischer
Korrosionspräparate - dargestellt am Koronar-
gefäßsystem des Hundes
Z Kreislauff 55: 297-305 (1966)
- 31) Schweizer, W., Pitt, B. Staub, H.
Interarteriel coronary anastomoses
Experientia 15: 309-310 (1959)
- 32) Sigel, A. Chirurgische GefäßAnatomie der Niere
Progr. Surg 3: 131 -207 (1963)
- 33) Smith, J.R., Henry, M.J.
Demonstration of the coronary arterial
system with Neoprene latex
J Lab and Clin Med 30: 462-466 (1945)
- 34) Spalteholz, W. Die Arterien der Herzwand
Hirzel Leipzig (1924)
- 35) Tompsett, D. H. Improvements in corrosion casting
techniques
Ann Royal Coll Surg England 24: 110-123 (1959)
- 36) West, S., The anastomosis of the coronary arteries
Lancet Vol I London (1883)
- 37) Whitten, M.B. A review of the technical methods of
demonstrating the circulation of the heart
Arch Int Med 42: 846-864 (1928)
- 38) Whitten, M.B. The relation of the distribution and structure
of the coronary arteries to myocardial in-
faction
Arch Int Med 45: 383-400 (1930)

- 39) Gould, S.E. Pathology of the heart and blood vessels
Springfield: Thomas (1968)

Lebenslauf

Ich, Sigrid Pauly, wurde am 21. 5. 1948 als Tochter des o.Professors für Medizinische Strahlenkunde Helmut Wilhelm Pauly und seiner Ehefrau Martha, geb. Czaja in Frankfurt/Main geboren.

1954 wurde ich eingeschult, von 1957 bis 1959 besuchte ich das 4. und 5. Schuljahr der Elementary School in Philadelphia, Penna., USA.

1959 wurde ich in die Schillerschule in Frankfurt/Main aufgenommen, die ich ohne Unterbrechung bis zum Abitur am mathematisch-naturwissenschaftlichen Zweig im Nov. 1966 besuchte.

Das Studium der Medizin begann ich im WS 1966/67 an der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg und legte hier im Juli 1967 das Vorphysikum und im März 1969 das Physikum ab. Im SS 1969 begann ich das klinische Studium an der Universität Heidelberg, studierte im WS 1969/70 an der Universität Freiburg/Brsg. und setzte das Studium im SS 1970 wieder an der Universität Erlangen-Nürnberg fort. Im Juli 1972 schloß ich das Studium an der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg mit dem Medizinischen Staatsexamen ab.

Offsetdruck-Fotodruck

J. Hogl, 8520 Erlangen Hauptstr. 109, (Nähe Martin-Luther-Platz) Tel.22990